

из которых следует, что постоянные A и B зависят от конечного значения деформации ε .

Решение уравнения (5) дает закон релаксации напряжений (6). Из анализа последнего следует, что при $t = 0$ напряжение имеет значение $\sigma = A + B$, а при возрастании t напряжение уменьшается по экспоненциальному закону. Таким образом, как логический, так и математический анализ рассмотренной модели упруговязкого РМ указывают на ее достаточную физическую обоснованность.

Сформированная модель позволяет объяснить характер поведения упруговязкого РМ в процессе его нагружения. Это важно для математического моделирования процесса взаимодействия лезвия ножа с РМ, с учетом скорости резания, меняющейся для измельчающих аппаратов кормоуборочных комбайнов в широком диапазоне.

Литература

1. Особов, В. И. Теоретические основы уплотнения волокнистых растительных материалов. Труды ВИСХОМа. Вып. 55. М., 1967.

Е.Н. Шпылёв (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **В.И. Кондратенко**, ст. преподаватель

СЛОИСТАЯ СТРУКТУРА В РЕЗОНАТОРЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

В настоящее время широкое распространение получили устройства, принцип действия которых основан на интерференционных явлениях в тонкослойных структурах, таких как полу- и четвертьволновые пластинки, толщина которых сопоставима с длиной волны света. Особенностью СВЧ – диапазона является то, что в нем возможно создание элементов, толщина которых может быть намного меньше длины волны в волноводе. Это реализуется как выбором толщины элемента, так и выбором параметра сечения волновода близким к критическому. Кроме того, интенсивное развитие современных технологий, связанных с формированием тонкопленочных слоистых структур, приводит нас к необходимости определения интегрированных параметров образующихся структур – интегрального пропускания и отражения. В СВЧ - диапазоне решение данных задач сводится к определению комплексного коэффициента передачи и комплексного коэффициента. При большом затухании характер ослабления соответствует закону Бугера, при котором можно пренебречь переотражением внутри образца. Однако при достаточно малом ослаблении в отдельном элементе характер

взаимодействия слоистой структуры с электромагнитной волной существенно зависит от суммарной толщины образца, и от числа используемых элементов. В общем случае это не позволяет определить удельное поглощение материала при линеаризации получаемой кривой в логарифмическом масштабе.

Рассмотрим процесс миграции энергии внутри тонкого слоя в геометрическом приближении. Сдвиг фаз определяется соотношением между диэлектрической проницаемостью среды, длиной волны и толщиной образца.

$$\phi = \frac{\sqrt{\varepsilon} \cdot d}{\lambda} \cdot 2\pi \quad (1)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды, d - толщина образца, λ - длина волны в волноводе.

При малой толщине сдвиг фаз для каждого элемента системы практически не существенен, что приводит к значительному снижению коэффициента отражения, а, значит, происходит увеличение коэффициента передачи. При значительном увеличении числа слоев в системе картина движения энергии за счет множественных переотражений усложняется. Рассмотрим процесс прохождения волны через отдельный элемент с учетом отражения от границ «воздух-материал» и «материал-воздух». Коэффициент отражения в соответствии с формулами Френеля [1] имеет вид

$$\Gamma = \left(\frac{\sqrt{\varepsilon} - 1}{\sqrt{\varepsilon} + 1} \right)^2 \quad (2)$$

Фазовый набег в общем случае может быть существенным, вследствие чего будем считать коэффициент передачи комплексным.

$$\Theta = \theta \cdot e^{i \cdot \phi} \quad (3)$$

Для описания процесса прохождения волны через элемент введем понятие эффективного коэффициента отражения, произведя суммирование всех волн, испытавших переотражения [2]:

$$\Gamma_{\text{эф}} = -\Gamma + \Gamma\Theta^2(1-\Gamma)(1+\Gamma) + \Gamma^3\Theta^4(1-\Gamma)(1+\Gamma) + \Gamma^5\Theta^6(1-\Gamma)(1+\Gamma) + \dots,$$

После элементарных преобразований выражение представимо в виде

$$\Gamma_{\text{эф}} = -\Gamma + \frac{\Gamma\Theta^2(1-\Gamma^2)e^{i2\phi}}{1-\Gamma^2\Theta^2e^{i2\phi}} \quad (4)$$

Аналогичным образом может быть представлен и эффективный коэффициент передачи:

$$\Theta_{\text{эф}} = \Theta(1-\Gamma)(1+\Gamma) + \Theta^3\Gamma^2(1-\Gamma)(1+\Gamma) + \Theta^5\Gamma^3(1-\Gamma)(1+\Gamma) + \dots$$

$$\Theta_{эф} = \frac{\Theta(1-\Gamma^2)e^{i\phi}}{1-\Gamma^2\Theta^2e^{i2\phi}} \quad (5)$$

Любое устройство СВЧ можно представить в виде многополюсника, каждый из входов которого представляет собой определенный тип волны, распространяющийся в линии передач. Многополюсник описывается матрицей рассеяния, диагональные элементы которой являются комплексными коэффициентами отражения, а недиагональные – комплексными коэффициентами передачи.

Рассмотрение прохождения электромагнитной волны через систему двух элементов можно провести аналогичным образом как и многополюсника заменяя коэффициенты отражения и передачи на эффективные значения.

Прохождение волны через два и более элементов можно рассмотреть аналогично проведенному выше, если для каждого последующего элемента использовать выражения для эффективных коэффициентов отражения и передачи предыдущей системы и добавлять к ней еще один элемент с соответствующими параметрами. Таким образом

$$\Gamma_{эф(n)} = \Gamma_{эф(n-1)} + \frac{\Gamma_{эф(1)}\Theta_{эф(n-1)}^2}{1-\Gamma_{эф(1)}\Gamma_{эф(n-1)}} \quad (5)$$

$$\Theta_{эф(n)} = \frac{\Theta_{эф(n-1)}\Theta_{эф(1)}}{1-\Gamma_{эф(1)}\Gamma_{эф(n-1)}} \quad (6)$$

По приведенным выше формулам были получены численные зависимости для фазы и модуля коэффициентов отражения и передачи в зависимости от параметров и числа дискретов, представленные на рисунках.

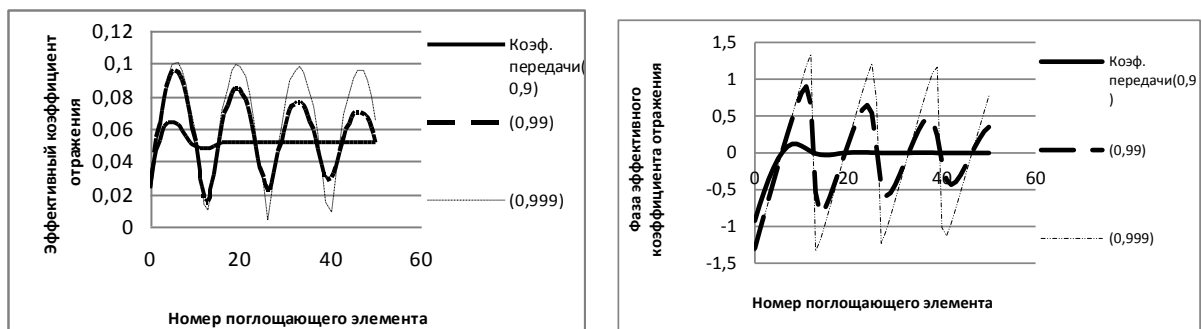


Рисунок 1 – Зависимость модуля и фазы эффективного коэффициента отражения от номера поглощающего элемента

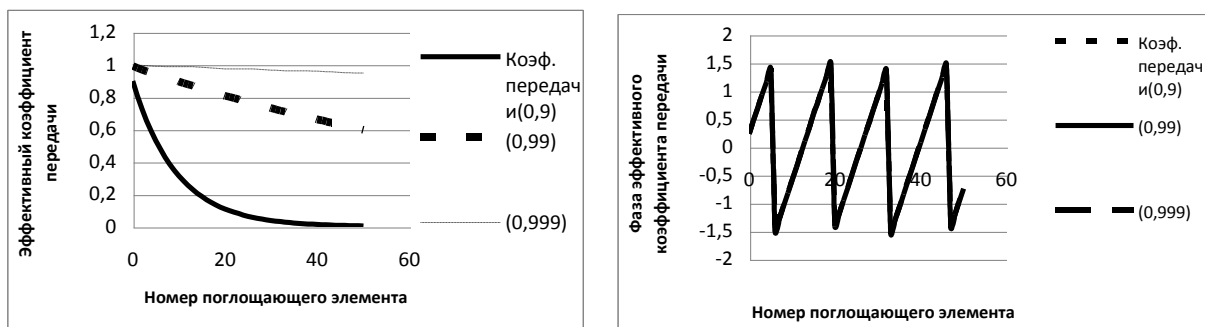


Рисунок 2 – Зависимость модуля и фазы эффективного коэффициента передачи от номера поглощающего элемента

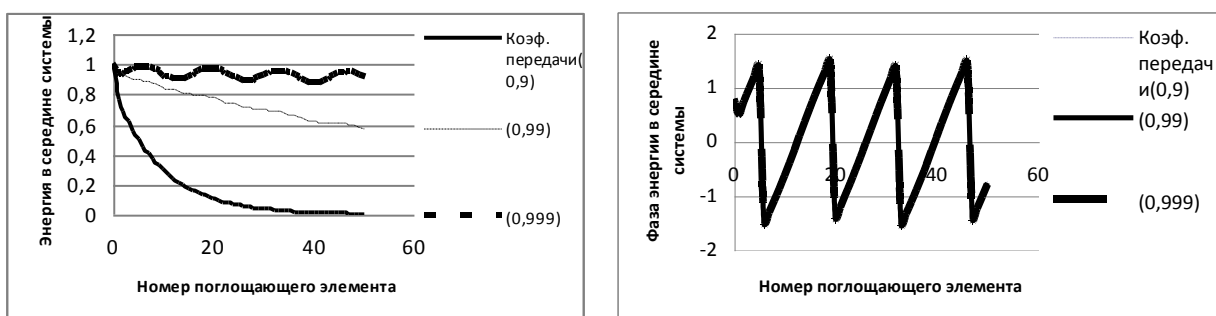


Рисунок 3 – Зависимость модуля и фазы амплитуды поля от номера поглощающего элемента

Из анализа полученных зависимостей видно, что при достаточно большом затухании волны в отдельном элементе общий характер ослабления остается экспоненциальным. Однако в случае близости коэффициента передачи к единице, затухание волны, равно, как коэффициент отражения, приобретают осциллирующий характер. На рисунке 3 представлена зависимость амплитуды суммарной волны, как функция положения элемента в стопе. При малом затухании в среде устанавливается режим смешанных волн, обусловленный переотражениями.

Полученные выражения для эффективных коэффициентов отражения и передачи слоистой структуры конечного числа элементов позволяют рассчитать численные значения параметров пропускания и ослабления дискретной структуры в волноводе.

Литература

1. Борн М., Вольф Э., Основы оптики, изд. 2-е. Перевод с английского. Главная редакция физико-математической литературы изд-во «Наука», М. 1973 г.
2. III Международная научная конференция «Проблемы взаимодействия излучения с веществом»: посвященная 85-летию со дня рождения Б. В. Бокутя : [материалы] : в 2 ч. Ч. 2 / Е. Л. Тихова, В. И. Кондратенко, А. А. Кондратенко // Электромагнитные волны в слоисто-неоднородных средах. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. – 90 с.